

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004 年 12 月 29 日 (29.12.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/114476 A1

(51) 国際特許分類: H01S 3/06, 3/0941, 3/042

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/007884

(22) 国際出願日: 2003 年 6 月 20 日 (20.06.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山本 修平 (YAMAMOTO, Shuhei) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 柳澤 隆行 (YANAGISAWA, Takayuki) [JP/JP]; 〒

100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 平野 嘉仁 (HIRANO, Yoshihito) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 田澤 博昭, 外 (TAZAWA, Hiroaki et al.); 〒100-0013 東京都千代田区霞が関三丁目7番1号 大東ビル7階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): JP, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

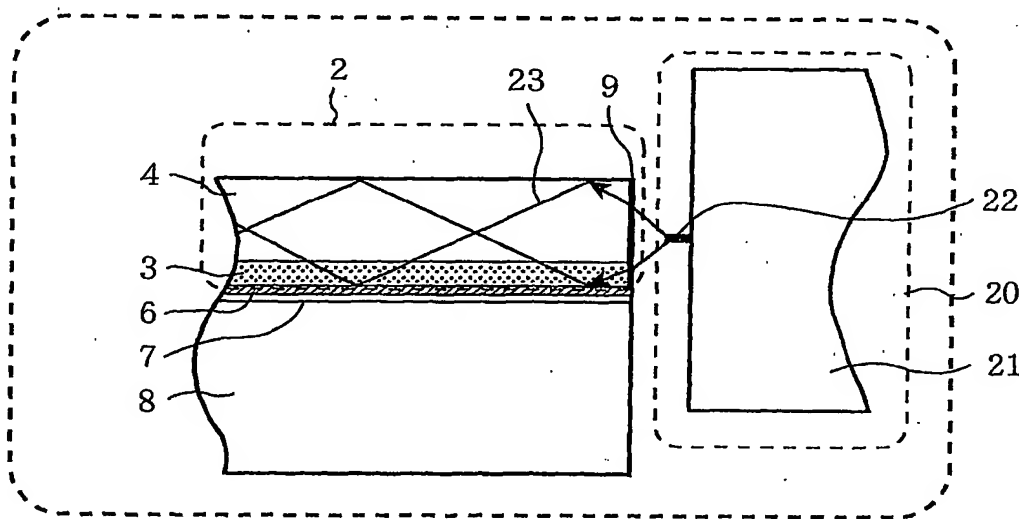
添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: SOLID LASER EXCITATION MODULE

(54) 発明の名称: 固体レーザ励起モジュール



(57) Abstract: A solid laser excitation module (1) comprising a flat additive-free medium (4) that is provided on the surface side opposite to the reflection surface of a thin solid laser medium (3), and is close in refractive index to the medium (3) and free from an active medium, wherein an excitation light is reflected off the reflection surface of the medium (3) and the reflection surface, on the surface side opposite to the medium (3), of the additive-free medium (4) to excite the thin solid laser medium (3) and allow a laser beam to be extracted.

(57) 要約: 薄型固体レーザ媒質 (3) の反射面との対向面側に、平板状の、薄型固体レーザ媒質 (3) と屈折率が近くかつ活性媒質を含まない無添加媒質 (4) を設けることで、固体レーザ励起モジュール (1) が構成され、励起光が、薄型固体レーザ媒質 (3) の反射面と、無添加媒質 (4) の、薄型固体レーザ媒質 (3) との対向面側の反射面とを反射することで、薄型固体レーザ媒質 (3) の励起が行われ、レーザ光が取り出される。

## 明 細 書

## 固体レーザー励起モジュール

## 技術分野

この発明は、薄型固体レーザー媒質を用いた固体レーザー励起モジュールに関する。

## 背景技術

従来、薄型固体レーザー媒質を用いて、励起を行う構成の固体レーザー励起モジュールが知られている。このような固体レーザー励起モジュールは、固体レーザー媒質の薄板に対して励起源を設け、この薄型固体レーザー媒質を励起させるようにしたものである。このような技術は、例えば、United States Patent、Patent Number : 5, 553, 088、Braich et al.、Date of Patent : Sep. 3, 1996に開示されている。

従来の薄型固体レーザー媒質を用いた固体レーザー励起モジュールにおいて、薄型固体レーザー媒質の側面から励起を行う構成では、励起光の入射光率を高めるために、励起面である薄型固体レーザー媒質の側面を大きくする必要があった。特に、高出力の励起源は発光面の大きさが大きいいため、励起光をレンズ等で集光したとしても、その集光サイズは大きく、高効率に励起を行うためには励起面である側面が大きい必要があった。このため薄型固体レーザー媒質は厚さが厚く、この結果、発熱体である薄型固体レーザー媒質の温度上昇が大きくなり、レーザー発振の効率、出力の低下が起きることがあった。レーザー媒質の温度上昇を抑える目的で、薄型固体レーザー媒質の厚さを小さくした場合、励起光の薄型固体レーザー媒

質への入射光率が低く、この結果、高出力なレーザ出力光が得られないなどの特徴があった。

また、従来の薄型固体レーザ媒質を用いた固体レーザ励起モジュールにおいて、薄型固体レーザ媒質の側面から励起を行う構成、および、薄型固体レーザ媒質の平板面から励起を行う構成では、薄型固体レーザ媒質の平板面の一面に、レーザ発振波長の反射膜を施しているが、反射膜の応力の影響で薄型固体レーザ媒質が歪むことがあった。この応力歪みの制御は困難であるため、製作毎に応力歪みは異なっていた。薄型固体レーザ媒質が歪むことにより、レーザ発振時に大きな損失となり、特にシングルモードや低次マルチモードの高ビーム品質のレーザ出力が大きく低下することがあった。更に、製作毎に応力歪みが異なることから、製作毎にレーザ出力やビーム品質が異なることがあった。

更に、薄型固体レーザ媒質の対向する2つの平板面が平行であることからエタロン効果が生じ、透過率の波長依存性が生じることがあった。このため、レーザ発振は利得帯域全域で発振せず、飛び飛びの波長で、あるいは、部分的な波長領域のみでレーザ発振が行われることがあった。このようなエタロン効果を抑制する目的で、薄型固体レーザ媒質の対向する2つの平板面の平行度を故意に落とすことがある。しかしながら、このような手段を用いた場合、薄型固体レーザ媒質の厚さが平板面内で異なることから、面内での利得分布が均一ではなくなり、その結果、レーザ出力光のビーム品質の低下や、高ビーム品質なレーザ出力光の低下が起きることがあった。

このように、従来の薄型固体レーザ媒質を用いた固体レーザ励起モジュールでは、励起面を十分に大きくすることができないことから、高出力励起源を用いて高効率励起を行うことが困難であり、レーザ出力の高効率化と高出力化の両立が困難であるなどの課題があった。また、固体

レーザ媒質を十分に薄くすることができないことから、固体レーザ媒質の温度上昇が大きくなり高効率、高出力のレーザ発振が困難であるなどの課題があった。また、反射膜の応力で薄型固体レーザ媒質が歪むことから、高ビーム品質のレーザ出力光を、高効率、高出力で得ることができない、あるいは、レーザ出力光のビーム品質が低下するなどの課題があった。また、固体レーザ媒質にかかる歪み量を制御することが困難であることから、製作毎にビーム品質やレーザ出力が異なるなどの課題があった。また、エタロン効果を抑制するために薄型固体レーザ媒質の面内の厚さを変えることから、面内での利得分布が均一ではなくなり、レーザ出力光のビーム品質の低下や、高ビーム品質のレーザ出力が低下するなどの課題があった。

#### 発明の開示

この発明に係わる固体レーザ励起モジュールは、部分的にあるいは全面に活性媒質を添加した薄型固体レーザ媒質の平板面に反射膜を備え、反射膜側の平面から排熱を行う構成とし、前記薄型固体レーザ媒質の反射膜を備える平板面と対向する平面側に、平板状の、前記薄型固体レーザ媒質と屈折率が近くかつ活性媒質を含まない無添加媒質を設けたものである。

このことによって、薄型固体レーザ媒質の温度上昇を抑え、薄型固体レーザ媒質の応力歪みの発生や、寄生発振を抑制することができ、更に、利得領域を任意の形状にすることができるため、高効率で高出力なレーザ光を得ることができるなどの効果がある。

この発明に係わる固体レーザ励起モジュールは、平板状の薄型固体レーザ媒質と無添加媒質の側面を、励起光を導入する励起面とし、前記励起光が薄型固体レーザ媒質の反射膜を備える平面と、前記無添加媒質の

薄型固体レーザ媒質と対向する平面とを反射することで、前記薄型固体レーザ媒質の励起を行うように構成したものである。

このことによって、薄型固体レーザ媒質の厚さに依存せずに励起面の厚さを大きくすることが可能であるという効果がある。

この発明に係わる固体レーザ励起モジュールは、前記励起面が前記薄型固体レーザ媒質の厚さ方向に対して傾斜しており、前記励起源の励起光の光軸が、当該励起面と同じ方向に傾斜しているように構成したものである。

このことによって、エタロン効果や寄生発振を抑制することができる効果がある。

この発明に係わる固体レーザ励起モジュールは、前記薄型固体レーザ媒質と前記無添加媒質が、拡散接合、オプティカルコンタクト、セラミック製作手段のいずれかにより接合されているものである。

このことによって、薄型固体レーザ媒質と無添加媒質とを接合した固体レーザチップとして、光学的な損失がほとんどなく、強度も大きいという効果がある。

この発明に係わる固体レーザ励起モジュールは、薄型固体レーザ媒質の平板面間が平行に構成され、かつ、無添加媒質の平板面間が傾斜して構成されているものである。

このことによって、エタロン効果や寄生発振を抑制することができる効果がある。

この発明に係わる固体レーザ励起モジュールは、薄型固体レーザ媒質の活性媒質をYbとしたものである。

このことによって、固体レーザ媒質特有の発生熱による問題の影響が小さく、また、濃度昇降が起きにくいなどの理由から小型化が可能であり、さらに、レーザ光の超短パルス化が可能であるという効果がある。

## 図面の簡単な説明

第 1 図は、この発明の実施の形態 1 による固体レーザー励起モジュールの側面図である。

第 2 図は、この発明の実施の形態 1 による固体レーザー励起モジュールの要部の構成を示す図である。

第 3 図は、この発明の実施の形態 1 による固体レーザーチップの側面図である。

第 4 図は、この発明の実施の形態 1 による固体レーザー励起モジュールを用いたレーザー発振器の構成図である。

第 5 図は、この発明の実施の形態 1 による固体レーザー励起モジュールを用いたレーザー発振器の他の例の構成図である。

第 6 図は、この発明の実施の形態 1 による固体レーザー励起モジュールの第 2 の例の要部の構成を示す図である。

第 7 図は、この発明の実施の形態 1 による固体レーザー励起モジュールの第 3 の例の要部の構成を示す図である。

第 8 図は、この発明の実施の形態 1 による固体レーザー励起モジュールの第 4 の例の平面図である。

第 9 図は、この発明の実施の形態 2 による固体レーザー励起モジュールの要部の構成を示す図である。

第 10 図は、この発明の実施の形態 3 による固体レーザーチップの薄型固体レーザー媒質複合材部分の平面図である。

第 11 図は、この発明の実施の形態 3 による固体レーザーチップの側面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、この発明をより詳細に説明するために、この発明を実施するための最良の形態について、添付の図面に従って説明する。

#### 実施の形態 1.

第 1 図は実施の形態 1 の固体レーザー励起モジュールの側面図である。また、第 2 図は、実施の形態 1 の固体レーザー励起モジュールの要部の構成を示す図である。

実施の形態 1 に係わる固体レーザー励起モジュール 1 は、第 1 図～第 2 図に示すように、固体レーザーチップ 2，励起源 20，冷却手段 8 を備えている。固体レーザーチップ 2 は、薄型固体レーザー媒質 3，無添加媒質 4、反射膜 6 で構成される。

薄型固体レーザー媒質 3 は、活性媒質として希土類が添加されたレーザー媒質であり、レーザー媒質の母材は、結晶、セラミック、ガラス材などが用いられる。希土類元素は特に種類を限定せず、様々な元素に対して利用可能であるが、ここでは、Yb（イッテルビウム）を用いた場合について説明を行う。また、レーザー媒質の母材は、種類を特に限定せず、様々な母材について利用可能であるが、ここでは、 $Y_3Al_5O_{12}$ （YAG）を用いた場合について説明を行う。このような Yb が添加された YAG を Yb : YAG と呼ぶ。

また、無添加媒質 4 は、薄型固体レーザー媒質 3 の反射膜 6 側の対向面に設けられ、平板状で、かつ、光学的に透明で薄型固体レーザー媒質 3 と屈折率が近い性質を持つと共に、薄型固体レーザー媒質 3 の活性媒質を含まない部材である。即ち、無添加媒質 4 は、薄型固体レーザー媒質 3 の母材と同様に、結晶、セラミック、ガラス材などが用いられ、かつ、レーザー媒質が添加されていないものである。

本実施の形態による固体レーザーチップ 2 は、励起源 20 により側面から励起が行われる。固体レーザーチップ 2 は、薄型固体レーザー媒質 3 と、

無添加媒質 4 を接合し、一体としているため、励起光の入射面は、薄型固体レーザ媒質 3 と、無添加媒質 4 の側面を合わせた面となる。これを励起面 9 とする。励起光源 20 は、半導体レーザであってもよい。特に、高出力な励起光が高効率に利用可能な、半導体レーザバーであってもよい。例えば、励起光源 20 として、単層の半導体レーザバー 22 を含んだ半導体レーザ 21 によって励起を行う。半導体レーザバー 22 のファースト軸方向の出射面は数  $\mu\text{m}$  のサイズである場合があり、スロー軸方向のサイズは 10 mm 程度である場合がある。このような場合、励起面 9 内で固体レーザチップ 2 の厚さ方向に対して鉛直な方向（幅方向と呼ぶ）が、半導体レーザ 21 のスロー軸方向のサイズと同等か、あるいは、より大きくし、半導体レーザバー 22 と励起面 9 の距離を、固体レーザチップ 2 の厚さ方向の距離と同程度か、より短い距離にすることで、高効率に、ほとんどの励起光を固体レーザチップ 2 に、励起面 9 から入射させることができる。励起面 9 から固体レーザチップ 2 に入射した励起光 23 は、固体レーザチップ 2 の内部で全反射を繰り返しながら伝搬する。伝搬する励起光 23 が薄型固体レーザ媒質 3 を通過するとき、励起光 23 は吸収される。このように励起光 23 は固体レーザチップ 2 の内部をジグザグに伝搬しながら、薄型固体レーザ媒質 3 に吸収され、薄型固体レーザ媒質 3 は励起される。

半導体レーザ光はファースト軸方向には大きな広がり角を持って放射される。例えば、半値全幅 40 度もの広がり角で放射される場合がある。このため、励起面 9 から入射した励起光 23 の内、広がり角の大きい成分は、薄型固体レーザ媒質 3 の反射膜 6 が施されている面（下面と呼ぶ）と、無添加媒質 4 の薄型固体レーザ媒質と接合している面とは反対の面（上面と呼ぶ）に対して、大きな角度で入射して、それぞれの面で全反射される。このため、固体レーザチップ内を伝搬する際に、上下面



での全反射回数が多く、ジグザグに伝搬する。一方、広がり角の小さい成分は、上下面での反射回数が少なく伝搬する。

本発明による固体レーザチップを構成する薄型固体レーザ媒質の厚さを  $d_1$ 、無添加媒質の厚さを  $d_2$  とする。従って、固体レーザチップの厚さ  $d_0$  は、 $d_0 = d_1 + d_2$  となる。また、従来例の薄型固体レーザ媒質の厚さを  $D_1$  とする。さらに、薄型固体レーザ媒質の薄板面内で励起面に直交する長さを  $L$  とする。ここで、例えば、本発明による固体レーザチップの薄型固体レーザ媒質の厚さ  $d_1$  と、従来例の薄型固体レーザ媒質の厚さ  $D_1$  が等しく、薄型固体レーザ媒質の厚さを  $d_1$  に比べ無添加媒質の厚さ  $d_2$  が  $m$  倍の厚さである場合、 $d_1 = D_1$ 、 $d_2 = m \times d_1$ 、 $d_0 = d_1 + d_2 = (m + 1) d_1$  となる。

従って、本実施の形態では、従来に比べ励起面の厚さは  $(m + 1)$  倍となり、励起面の開口が  $(m + 1)$  倍大きくなることから、容易に励起光を励起面から固体レーザチップ内に入射させることができることがわかる。一方、本実施の形態による固体レーザチップ 2 では、無添加媒質 4 を通過している時、励起光は吸収されないため、固体レーザ媒質を通過する長さである吸収長は、 $1 / (m + 1)$  倍に減少する。

このため、従来例と同等の吸収長を得るためには、薄型固体レーザ媒質の薄板面内で励起面に直交する長さが  $(m + 1)$  倍必要であり、 $(m + 1) L$  の長さで、同等の吸収が得られることがわかる。また、薄型固体レーザ媒質に含まれる活性媒質の濃度を増加させた場合、増加量に依存して励起光の単位長さあたりの吸収率が増加するため、吸収長が短い場合でも、吸収率を一定に保つことができる。

例えば、従来に比べ、活性媒質の濃度を  $(m + 1)$  倍に増加させた場合、単位長さあたりの吸収率も  $(m + 1)$  倍になるため、 $1 / (m + 1)$  倍の吸収長でも従来と同じ吸収率を確保することができる。特に、活

性媒質が Y b であり、母材が Y A G である場合には、原理的には、Y b を 1 0 0 % 置換することが可能であるため、高濃度に添加し、高い単位長さあたりの吸収率を得ることが容易である。

従って、本実施の形態による固体レーザ励起モジュールでは、活性媒質を高濃度に添加した薄型固体レーザ媒質 3 と無添加媒質 4 を接合した固体レーザチップ 2 を用いているので、薄型固体レーザ媒質 3 を厚くすることなく励起面を厚くすることが可能であり、固体レーザチップ 2 の外形を大きくすることなく励起光を吸収させることが可能である。

このように励起面の厚さ方向の寸法を大きくすることができるため、積層型半導体レーザバーなどのような、出射面が大きい励起源も用いることができる。従って、高出力な励起が可能であり、その結果、高出力なレーザ出力光が得られるなどの特徴がある。

発熱体である薄型固体レーザ媒質は、厚さに依存して温度が上昇する。本実施の形態による固体レーザ励起モジュールでは、薄型固体レーザ媒質 3 の厚さを励起源に依存せず薄くすることができるので、十分に薄くすることが可能であり、その結果、薄型固体レーザ媒質 3 の温度上昇を非常に小さく抑えることができる。このように、薄型固体レーザ媒質 3 の温度上昇が小さいので、高効率で高出力なレーザ発振が可能であり、更には、増幅器に適用した場合でも、高利得を得ることができるので、高効率にエネルギーの抽出が可能であり、高出力な増幅が可能であるなどの効果がある。

薄型固体レーザ媒質の片端面から排熱を行う構成では、薄型固体レーザ媒質の排熱を行う側の端面にレーザ発振波長に対する反射膜を施して、薄型固体レーザ媒質を利得のある反射鏡として用いる。薄型固体レーザ媒質の厚さが小さいほど薄型固体レーザ媒質の温度上昇が小さく、レーザ発振の高効率化、高出力化に有利であることは既に述べた。一方で

、薄型固体レーザ媒質の厚さが薄すぎる場合、反射膜の応力で、薄型固体レーザ媒質が歪むことがある。歪んだ薄型固体レーザ媒質は、曲率のついた反射面として動作するが、歪みは一般的には理想的な球面や、パラボリックな分布ではなく、高次収差のある反射面になる。高次収差は、球面レンズや、シリンドリカルレンズなどで簡単に補正することはできないため、発生した収差量に依存して、レーザビーム品質の低下や、出力の低下が発生することとなる。一般に反射膜の応力を制御することは困難であるため、歪み量を制御することも困難である。このため、製作毎にレーザビーム品質や出力の異なるレーザとなることがある。

本実施の形態による固体レーザチップ2は、薄型固体レーザ媒質3の反射膜6が施されている面と対向する面が、無添加媒質4と光学的に接合している構成を取っている。無添加媒質4は、薄型固体レーザ媒質3よりも厚さが大きく、面全体で接合している。このように、薄型固体レーザ媒質3と、無添加媒質4を面全体で張り合わせる構成としたため、固体レーザチップ2の剛性は、薄型固体レーザ媒質3単体のときよりも強くなり、反射膜6の応力による固体レーザチップ2の歪みは非常に小さくなる。このため、歪みに依存したレーザ出力のビーム品質の低下や、高ビーム品質のレーザ光の出力の低下は発生せず、高ビーム品質で高出力が得られるなどの特徴がある。また、製作毎にレーザ出力やビーム品質が異なるなどの特徴もなく、常に安定した品質と出力を提供することができるなどの効果がある。

また、本実施の形態では、薄型固体レーザ媒質3と、無添加媒質4は、拡散接合と呼ばれる手法によって接合されていても良い。拡散接合では、張り合わせる2つの面に圧力を掛けた上で高温にするすることで、これらを接合する。このようにして接合した面は、光学的な損失がほとんどなく、強い強度を持っている。拡散接合では、張り合わせる2つの材

料の屈折率が近い場合に、高い品質で接合ができる。従って、薄型固体レーザ媒質 3 の母材と、無添加媒質 4 が同じ材料であってもよい。例えば、薄型固体レーザ媒質 3 が Yb : YAG のとき、無添加媒質 4 は、YAG であってもよい。このような場合、Yb : YAG と YAG が光学的に損失のない剛性の強い一つのチップとして取り扱うことができる。

薄型固体レーザ媒質 3 と、無添加媒質 4 が一つのチップとして接合された固体レーザチップ 2 は、励起源 20 によって励起が行われる。無添加媒質 4 には活性媒質は添加されておらず、薄型固体レーザ媒質 3 にのみ活性媒質が添加されているため、励起光 23 は、薄型固体レーザ媒質 3 でのみ吸収される。従って、発熱は薄型固体レーザ媒質 3 でのみ発生し、無添加媒質 4 では発熱しない。

排熱は、薄型固体レーザ媒質 3 の反射膜 6 側の面から行う構成としている。このため、固体レーザチップ 2 中の薄型固体レーザ媒質 3 の温度上昇は、固体レーザチップ 2 中の薄型固体レーザ媒質 3 と厚さが同じで、発生熱が同じときの薄型固体レーザ媒質単体の時と同等になる。従って、薄型固体レーザ媒質 3 の伝熱方向の厚さを、例えば 100  $\mu\text{m}$  以下に薄くした場合でも、無添加媒質 4 を接合した構成のため、剛性が強く、反射膜 6 の応力による歪みは極めて小さく、更に、温度上昇を低く抑えることができる。このように本実施の形態では、固体レーザチップ 2 の歪みを非常に小さくすることができるので、レーザビーム品質の低下や、出力の低下が発生することがなく、また、薄型固体レーザ媒質 3 の厚さを薄くすることができるので、温度上昇が小さく、高効率に高出力なレーザが得られるなどの効果がある。

尚、これまで固体レーザチップ 2 は、薄型固体レーザ媒質 3 と、無添加媒質 4 を拡散接合で張り合わせる場合について説明したが、従来から知られているオプティカルコンタクトの手法や、粉末状の 2 つの媒質を

積層させ、焼結することで一体化するセラミック製作手法を用いてもよい。また、薄型固体レーザー媒質の母材と、無添加媒質を同じ材料を用いた場合について説明したが、無添加媒質 4 は、光学的に透明で薄型固体レーザー媒質 3 と屈折率が近いものであればよく、このとき、上記の拡散接合やセラミックを製作する手法を同様に用いることができる。例えば、薄型固体レーザー媒質 3 を、Yb : YAG として、無添加媒質にサファイヤを用いることもできる。サファイヤは光学的に透明で、剛性が強い材料であるので、応力による歪みを極めて小さくすることができるなどの特徴がある。

薄型固体レーザー媒質 3 の反射膜 6 が施されている側の面と、冷却手段 8 は接合剤 7 で接合している。接合剤 7 は接着剤を用いる他、金属や合金であっても良い。例えば、反射膜 6 上に、更に、金や銅などの金属膜を形成し、インジウムなどの半田材料で合金化して接合してもよい。このように構成した場合、接合強度が強く、熱抵抗を小さく接合することが可能である。

冷却手段 8 を構成するヒートシンクは、内部に適切なチャネルを設け、チャネル内に液体や気体等を流して冷却を行っても良い。この場合、液体の冷却媒体は水、エチレングリコール、アルコール、アンモニア、水銀、液体窒素、液体ヘリウムなどを用いてもよい。気体としては、ヘリウム等が適している。また、冷却手段 8 は、別途冷却を行ったプレートに接合させて用いても良いし、ベルチェに接合させて冷却を行う構成をとってもよい。いずれにせよ、固体レーザーチップ 2 は、薄型固体レーザー媒質 3 の反射膜 6 側の面を接合剤 7 でヒートシンク 8 に、熱的、機械的に接合する構成を取っているので、薄型固体レーザー媒質 3 で発生した熱は、一次元に冷却手段 8 の方向に流れる。このため、薄型固体レーザー媒質 3 では、厚さ方向の断面内でのみ温度分布が生じ、薄型固体レーザー

媒質 3 内の反射膜 6 側が冷たく、無添加媒質 4 側の面が熱いといった熱分布になる。一方、一次元に熱伝導しているため、固体レーザチップ 2 の厚さ方向に鉛直な面内、つまり、レーザ発振を行うビームの断面内における熱分布は発生しないため、熱レンズは発生しない。このため、励起やレーザ出力に伴って、安定動作領域が変化することではなく、高出力の光ビーム品質のレーザ光を安定に得ることができるなどの効果がある。

十分に強い励起光で励起された薄型固体レーザ媒質は蛍光を発生し、光利得を持つ。このため、適切な部分反射鏡を配置し、共振器を構成することで、レーザ発振が行われる。一方で、薄型固体レーザ媒質は薄く、小さい領域に光利得を持つため、意図しないレーザ発振が起こることがある。例えば、薄型固体レーザ媒質の上下 2 面間や、対向する側面間で発振を起こしたり、発生した蛍光が薄型固体レーザ媒質内で全反射を繰り返しながら、蛍光を増加させ、光利得を減少させたりすることがある。このような現象を ASE (Amplified Spontaneous Emission) の発生と呼び、極端場合、寄生発振と呼ばれる不要なレーザ発振を生じる。寄生発振は所望のレーザ光として取り出せるものではなく、また、光利得を減少させるものであるため、励起光を増加させても、出力鏡からの所望のレーザ光の出力は、飽和し、さらには低下することがある。このため、薄く、小さい領域を高密度に励起しなければならない Yb : YAG の場合は、特に、上記寄生発振を抑制する必要があることがわかる。

薄型固体レーザ媒質を無添加媒質と接合することなく単体で用いた場合は、薄型固体レーザ媒質内の全反射条件内の角度で発生した蛍光は、薄型固体レーザ媒質内を全反射して光利得を減少させる。一方、固体レーザチップ 2 を用いた場合、薄型固体レーザ媒質 3 で発生した蛍光は、

固体レーザチップ 2 の上下面で全反射することになるため、発生した蛍光が薄型固体レーザ媒質を通過する長さが無添加媒質の厚さ比分だけ短くなり、光利得を減少させる割合が小さい。このため、本発明による固体レーザ励起モジュールでは、寄生発振が起こりにくく、この結果、高効率で高出力なレーザ出力が得られるなどの効果がある。

更に、固体レーザチップ 2 の対向する 2 面間の平行度を落とすことで寄生発振を抑制する構成としても良い。

レーザ共振器中に平行平板が存在する場合、平行平板の両端の反射による光共振の影響で、エタロン効果と呼ばれる共振波長のみが選択的に増幅される波長依存性が発生することがある。従来のように、薄型固体レーザ媒質の下面が反射膜により高反射率を持っている場合、上面の反射率が小さい場合でも、上下面間の多重反射による影響で、薄型固体レーザ媒質でエタロン効果が発生することがある。また、レーザ媒質単体で考えた場合、上下面間でのエタロン効果を低減させるために薄型固体レーザ媒質自身の上下面の平行度を低下させる必要がある。このように構成した場合、利得を持つレーザ媒質の厚さがレーザ光の断面内で異なることになり、従って、レーザ光断面内で増幅率が異なるため、レーザ光のビーム品質が低下することがある。

このような問題に対処するため、本実施の形態においては、第 3 図に示すように、固体レーザチップ 2 の平板の 2 面間の平行度を故意に落としている。このように、薄型固体レーザ媒質 3 と接合する側の面を基準とした場合、その対向する面は傾斜しており、この面を無添加媒質の傾斜面 9 2 と呼ぶ。このように、無添加媒質 4 は無添加媒質の傾斜面 9 2 を配置した構成であるため、固体レーザチップ 2 の上下面間で反射した光の光路は一致せず、多重干渉が起こらない。このため、エタロン効果が発生せず、透過光の波長依存性がないため、レーザ利得帯域内で連続

したレーザ発振や増幅が可能であり、理想的な超短パルス化が可能であるなどの特徴がある。

また、薄型固体レーザ媒質 3 と、無添加媒質の傾斜面 9 2 を備える無添加媒質 4 を接合した固体レーザチップ 2 を用いているため、利得をもつ薄型固体レーザ媒質の厚さが一定にもかかわらず、エタロン効果や寄生発振を抑制できる。このため、レーザ光断面内での増幅率が一定であることからレーザ光のビーム品質が低下することなく、高品質なレーザ光が得られるなどの効果がある。更に、固体レーザチップ 2 の上下面を反射面とした寄生発振も抑制されるなどの効果もある。尚、第 3 図では、無添加媒質 4 の 2 つの励起面 9 の厚さ方向の大きさが異ならせて平行度を落とすようにしたが、励起面以外の側面の厚さ方向の大きさを変えることで、上下面間の平行度を落とす構成としても良い。

次に、このように構成された固体レーザ励起モジュール 1 を用いたレーザ発振器について説明する。

第 4 図～第 5 図は、本実施の形態による固体レーザ励起モジュール 1 を用いた場合のレーザ発振器の構成図である。第 4 図は、出力鏡 3 1 を固体レーザチップ 2 に対向させて配置したレーザ共振器を示す。第 5 図は、固体レーザチップ 2 の Y 方向の大きさが、X 方向の大きさよりも大きい場合のレーザ共振器の一例を示す。尚、ここでは、レーザ発振を行うための最小限の光学部品のみを示しており、場合によっては、さらに、各種光学部品を追加してもよい。

第 4 図に示す構成では、レーザ共振光 3 2 に対して出力鏡 3 1 は、同軸に配置される。また、固体レーザチップ 2 も出力光 3 3 に対して同軸に配置される。レーザ共振光 3 2 は、固体レーザチップ 2 と出力鏡 3 1 の間を往復し、レーザ出力光 3 3 が出力鏡 3 1 から出力される。半導体レーザのスロー軸方向（図中 Y 方向）の長さ、励起光が伝搬する方向



(図中 X 方向) の長さが等しく、固体レーザチップの X Y 面が正方形に近い場合、このようなレーザ共振器を構成することで、レーザ発振により得られるレーザのビーム品質は、X 方向と、Y 方向で等しく成りやすい。また、他の光学部品を配置して、シングルモード共振器を構成した場合、X、Y 方向のビーム径が等しいレーザ光が得られるなどの効果がある。

第 5 図に示す構成の場合、固体レーザチップ 2 は、光利得のある一つの反射鏡として用いられる。共振光 3 2 は X 軸方向に対しては、ほぼ鉛直であるが、Y 軸に対しては傾斜しており、固体レーザチップ 2 で反射する。このため、固体レーザチップ 2 に入射する共振光と、出射する共振光は、光軸が一致しない。このため、固体レーザチップ 2 に出入射する光軸の一方に対して同軸な位置に反射鏡 3 0 を配置し、もう一方の光軸に対して同軸な位置に出力鏡 3 1 を配置する。このように、反射鏡 3 0 と出力鏡 3 1 は、光学的に固体レーザチップ 2 を挟んで配置されているので、レーザ共振光 3 2 は、反射鏡 3 0 と出力鏡 3 1 の間を 1 周回する際に、光利得をもつ固体レーザチップ 2 を 2 往復通過する。このため、固体レーザチップ 2 をレーザ共振器終端の反射鏡として用いた場合に比べ、光利得が増加してみえるなどの効果がある。

また、レーザ共振光 3 2 は、固体レーザチップ 2 に対して、X 軸に対しては鉛直であるが、Y 軸に対しては鉛直ではなく、角度をもっている。このため、レーザ共振光 3 2 に対する固体レーザチップ 2 の見かけ上の形状は、長方形ではなく、正方形にすることができる。このため、固体レーザチップ 2 の Y 方向の大きさが、X 方向の大きさよりも大きいにも関わらず、レーザ出力光の断面内でのビーム径が等しく、シングルモード共振器を構成した場合も、レーザ出力光の断面内のビーム径が等しいレーザ光が得られるなどの効果がある。尚、固体レーザチップ 2 の Y

方向より X 方向が大きい場合は、レーザ共振光 3 2 を X 軸に対して傾斜するように反射鏡 3 0 と出力鏡 3 1 を配置しても同様の効果がある。

次に、励起源として半導体レーザのファースト軸方向に複数のバーを積層した積層型半導体レーザバーを用いた場合を第 2 の例として説明する。

第 6 図は、固体レーザ励起モジュールの要部を示す構成図である。半導体レーザにおいて、高出力な励起光を発生させることができるものとして、発光面がバー状であるものがある。

しかし、1つのバーから出力できる光パワーは限られているため、半導体レーザのファースト軸方向に複数のバーを積層することによって、光出力を増加させる構成の半導体レーザがある。第 6 図には、例えば、半導体レーザのファースト軸方向に 4 個のバーを積層した半導体レーザを図示している。このため、半導体レーザの光出力は、単層のバーを用いたときと比べて 4 倍の出力が得られ、より高出力な励起が可能となる。ここでは、4 個のバーを積層した場合について図示しているが、積層するバーの数には、特に制限はなく、 $n$  個のバー ( $n$  は整数) を積層することが可能である。このように、半導体レーザ 2 1 のファースト軸方向に、第 1 の半導体レーザバー 2 2 . 1、第 2 の半導体レーザバー 2 2 . 2、第 3 の半導体レーザバー 2 2 . 3、第 4 の半導体レーザバー 2 2 . 4、あるいは、図示せぬ第  $n$  の半導体レーザバー 2 2 .  $n$  ( $n$  は整数) を積層する構成としたため、全励起光の出力は 4 倍 (あるいは  $n$  倍) 用いることができる。このような半導体を積層型半導体レーザバーと呼ぶことがある。

半導体レーザバーをファースト軸方向に積層した積層型半導体レーザバーを用いたため、半導体レーザの励起光が出射される面積は、半導体レーザバーのファースト軸方向に大きくなる。従来の構成では、このよ

うに大きな発光面からの光出力を高効率に利用することは困難であったが、本実施の形態では、薄型固体レーザ媒質 3 と、無添加媒質 4 を接合する構成としたため、無添加媒質 4 の厚さを厚くすることで、薄型固体レーザ媒質 3 の厚さを一定に保ったままでも、励起面 9 のファースト軸方向の大きさを厚くすることができる。励起面 9 から入射した、第 1 の励起光 23.1、第 2 の励起光 23.2、第 3 の励起光 23.3、第 4 の励起光 23.4、あるいは、図示せぬ第  $n$  の励起光 23. $n$  ( $n$  は整数) は、それぞれ、固体レーザチップ 2 の内部を全反射しながら伝搬し、薄型固体レーザ媒質 3 の部分を通過する際に吸収される。このように、高出力の積層型半導体レーザバーを固体レーザチップ 2 の側面に近接して配置するだけで、高効率に薄型固体レーザチップ 3 を励起することが可能であり、この結果、高効率で、高出力なレーザ出力光 33 が得ることができるなどの効果がある。

次に、励起源として半導体レーザのファースト軸方向に複数のバーを積層した積層型半導体レーザバーを用い、更に、シリンドリカルレンズアレーや集光光学系を用いた場合を第 3 の例として説明する。

第 7 図は、固体レーザ励起モジュールの要部を示す構成図である。半導体レーザバーから出力される励起光のファースト軸方向の広がり角は大きいため、本実施の形態では、それぞれの半導体レーザバーから出力された励起光のファースト軸方向の広がりを平行化するための、マイクロシリンドリカルレンズを配置する。マイクロシリンドリカルレンズは、ファースト軸方向に曲率を持ち、スロー軸方向には曲率がないシリンドリカルレンズである。このマイクロシリンドリカルレンズを、半導体レーザバーから出力される励起光に対して同軸上で、半導体レーザバーに近接して配置することで、半導体レーザバーから出力された励起光のファースト軸方向の広がりを平行化することができる。スロー軸方向は

、広がり角に変化を与えない。尚、積層型半導体レーザバーは、複数個の半導体レーザバーを備えるが、マイクロシリンドリカルレンズもそれぞれの半導体レーザバーに対応して複数個配置される。このような複数個積層したマイクロシリンドリカルレンズを、シリンドリカルアレーと呼ぶことがある。例えば、第7図に示すように、第1の半導体レーザバー22-1から出力された第1の励起光は、第1のマイクロシリンドリカルレンズ40-1で平行化され、第2の半導体レーザバー22-2から出力された第2の励起光は、第2のマイクロシリンドリカルレンズ40-2で平行化され、第3の半導体レーザバー22-3から出力された第3の励起光は、第3のマイクロシリンドリカルレンズ40-3で平行化され、第4の半導体レーザバー22-4から出力された第4の励起光は、第4のマイクロシリンドリカルレンズ40-4で平行化され、あるいは、図示せぬ第nの半導体レーザバーから出力された第nの励起光は、第nのマイクロシリンドリカルレンズで平行化される（nは整数）。このように配置したので積層型半導体レーザバーから出力された励起光はシリンドリカルレンズアレーで個別に平行化されるので、ファースト軸方向から見た場合、複数の平行光が出力されることになる。

シリンドリカルレンズアレーで個別に平行化された励起光は、集光光学系41で一括集光される。集光光学系は、励起光源のファースト軸方向およびスロー軸方向の両方向を集光させるものであっても良いし、ファースト軸方向のみを集光するものであっても良い。また、シリンドリカルレンズを組み合わせて配置しても良いし、同心円のレンズを配置しても良い。さらには、レンズ面は、球面で合っても良いし、非球面で合っても良い。いずれにせよ、励起源から出力された励起光を励起面9から固体レーザチップ2の内部に入射させるために、励起光のサイズを小さくするものである。本実施の形態では、例えば、2枚のシリンドリカ

ルレンズで構成される。第 1 のシリンドリカルレンズ 4 2 は、スロー軸方向に曲率をもつシリンドリカルレンズであり、シリンドリカルアレーで平行化したすべての励起光に対して同軸に配置される。さらに、第 2 のシリンドリカルレンズ 4 3 が、第 1 のシリンドリカルレンズと固体レーザーチップ 2 の間で、シリンドリカルアレーで平行化したすべての励起光に対して同軸に配置される。

半導体レーザーバー 2 2 から出力された励起光は、スロー軸方向に対しては緩やかな広がり角を持って出力される。シリンドリカルレンズアレーはスロー軸方向に対しては曲率を持っていないため、シリンドリカルレンズアレーを通過する際に、スロー軸方向に光路の変更はない。シリンドリカルレンズアレーを通過して、スロー軸方向に曲率をもつ第 1 のシリンドリカルレンズに入射した励起光は、通過後にレンズ作用により集光されながら伝搬する。第 2 のシリンドリカルレンズ 4 3 は第 1 のシリンドリカルレンズ 4 2 の焦点前に配置されるが、スロー軸方向に対しては曲率を持っていないため、スロー軸方向の光軸に変化はなく、第 2 のシリンドリカルレンズ 4 3 を通過して集光していく。このように、スロー軸方向の励起光は半導体レーザーバー 2 2 (2 2-1 ~ 2 2-4) から出力された後、第 1 のシリンドリカルレンズ 4 2 により集光されるので、スロー軸方向のビーム径は小さくなる。このため、固体レーザーチップ 2 を半導体レーザーバー 2 2 よりも小さくすることが可能になる。固体レーザーチップ 2 のスロー軸方向の大きさを、集光位置のビームサイズよりわずかに大きいサイズにしておくことで、すべての励起光を励起面 9 から固体レーザーチップ 2 に入射させることができる。このように、固体レーザーチップ 2 のスロー軸方向の大きさを小さくすることができるので、薄型固体レーザー媒質 3 を高密度に励起することが可能となる。高密度に励起することで、下準位吸収を飽和させ、光利得を得るための励起パ

ワーを小さく抑えることができるので、レーザ発振しきい値を小さくすることができるため、レーザ出力の高効率化、高出力化ができるなどの効果がある。

半導体レーザバー 22 から出力された励起光は、ファースト軸方向に対しては大きな広がり角を持って出力される。シリンドリカルレンズアレーはファースト軸方向に対しては曲率を持っているため、シリンドリカルレンズアレー通過することで、平行化される。平行化されたそれぞれの半導体レーザバーから出力された励起光は、すべて第 1 のシリンドリカルレンズ 42 に入射するが、第 1 のシリンドリカルレンズ 42 はファースト軸方向に曲率を持っていないため、励起光は平行光のまま通過する。励起光はさらに、同軸に配置された第 2 のシリンドリカルレンズ 43 に入射する。この第 2 のシリンドリカルレンズは、ファースト軸方向に曲率を持っているため、それぞれの平行光は一つの焦点位置に向かって集光する。第 1 のシリンドリカルレンズの焦点距離より、第 2 のシリンドリカルレンズの焦点距離を短く設定することで、スロー軸方向の焦点位置と、ファースト軸方向の焦点位置を一致させることができる。スロー軸方向とファースト軸方向の焦点位置を揃えることで、焦点位置のビーム径を最小にすることができる。従って、この焦点位置に固体レーザチップ 2 の励起面 9 を配置することで、励起面 9 を小さくすることができるので、より高密度に励起することができる。この結果、レーザ出力の高効率化、高出力化ができるなどの効果がある。

次に、固体レーザチップの周りに励起源を複数配置した場合を第 4 の例として説明する

第 8 図は、固体レーザ励起モジュールの平面図である。固体レーザチップの側面に励起面が 1 つ以上あれば、これまで説明した本実施の形態の効果が得られる。一方、固体レーザチップ 2 の周囲に複数個の励起源

を配置することで、励起出力を増大させ、高出力なレーザ出力を得ることができる。固体レーザチップの周囲に4回転対称に励起源を配置した例を第8図に示す。固体レーザチップ2は4面以上の側面を持つ多角形であり、このうち、4個の側面を励起面として利用する。このように配置することで固体レーザチップ2の大きさを一定に保ったまま、励起出力を増大させることができるので、より高密度に励起することができ、従って、高効率で高出力なレーザ出力光を得られるなどの効果がある。更に、固体レーザチップ2のほぼ全周囲から励起しているため、励起領域の回転対称性がよく、利得領域の均一性がよい。このため、高ビーム品質のレーザ出力を高効率に高出力で得ることができるなどの効果がある。

本実施の形態による固体レーザチップ2は正方形、もしくは長方形である場合について説明したが、任意の形状であってよい。例えば、励起源が、半導体レーザや、積層型半導体レーザバーである場合には、少なくとも励起面は平面であることが望ましい。一方、励起光が、ファイバーや、ファイバーバンドルから出力されている場合には、厚さ方向だけでなく、幅方向にも同様に小さいので、励起面は特に平面である必要はなく、例えば、固体レーザチップの平板面が円形や、楕円形で、励起面に曲率がついていても高効率に励起することが可能である。

## 実施の形態2.

第9図は実施の形態2の固体レーザ励起モジュールの要部を示す構成図である。尚、特に明示しない限り実施の形態1と同様の構成であり、同様の効果がある。

励起源の入射面である固体レーザチップの側面である励起面は、固体レーザチップ2の厚さ方向に対して平行ではなく、傾斜している。この

傾斜した励起面 9 1 から励起光 2 3 が固体レーザチップ 2 の内部に入射する。また、励起源 2 0 も傾斜した励起面 9 1 と同じ方向に傾斜して配置される。

半導体レーザ光はファースト軸方向には大きな広がり角を持って放射される。しかし、全く広がらずに直進する成分もある。励起面が固体レーザ媒質 3 の厚さ方向に対して平行であり、励起面 9 の内、無添加媒質 4 の部分に入射した場合、直進する成分は上下面で反射しないため、薄型固体レーザ媒質 3 で吸収されることなく固体レーザチップ 2 内を伝搬し、入射した励起面 9 の反対側の面から出射される。一方、本実施の形態による固体レーザ励起モジュール 1 では、励起光 2 3 の入射面である側面は、固体レーザチップの厚さ方向に対して平行ではなく、傾斜しており、また、励起源 2 0 も傾斜した励起面 9 1 と同じ方向に傾斜して配置される。このため、励起源 2 0 から出力される励起光 2 3 のファースト軸方向に大きく広がる成分、小さく広がる成分、直進する成分のすべてが、固体レーザチップ 2 の内部では、上下面に平行な方向に直進することがない。このため、どの広がり角の成分も、上下面で全反射して光路が折り曲げられることから、薄型固体レーザ媒質 3 を通過し、吸収されることとなる。例えば、傾斜した励起面 9 1 が、固体レーザ媒質 3 の厚さ方向に対して、30度の角度で傾斜しており、励起源 2 0 も同じ角度で同じ方向に傾斜している場合は、半導体レーザバー 2 2 から出力された励起光 2 3 のファースト軸方向の広がり角が±45度を持っていても、半導体レーザバー 2 2 から直進して放射される成分も含めて、すべての成分が、固体レーザチップ 2 の内部で上下面に対して平行にはならない。さらに、例えば、無添加媒質に YAG を用い、固体レーザ媒質 3 の母材も YAG である場合には、ファースト軸方向の広がり角が±45度である場合でも固体レーザチップ 2 の内部の上下面において、すべて



の広がり角の成分が全反射条件を満足し、ジグザグに反射しながら伝搬することができる。このため、すべての広がり角の成分を薄型固体レーザー媒質 3 に吸収させることができるので、高効率に励起が可能であり、従って、高効率で、高出力なレーザー出力が得られるなどの効果がある。

### 実施の形態 3 .

第 10 図～第 11 図は実施の形態 3 の固体レーザー励起モジュールの固体レーザーチップを示す構成図である。尚、第 10 図は第 11 図の B-B 線断面図、第 11 図は第 10 図の A-A 線断面図を示している。また、特に明示しない限り実施の形態 1、および、実施の形態 2 と同様の構成であり、同様の効果がある。

これまで、薄型固体レーザー媒質 3 は、正方形や、長方形の場合について述べたが、六角形や八角形などの多角形や、円形、楕円形など任意形状であってもよい。一方で、固体レーザーチップ 2 の励起面 9 は、例えば、バー状の半導体レーザーによって励起するため、平面である必要がある。このため、薄型固体レーザー媒質 3 を用いる代わりに、薄型固体レーザー媒質複合材 10 を用いても良い。薄型固体レーザー媒質複合材 10 は、薄型固体レーザー媒質 3 と、第 2 の無添加媒質 11 で構成される。第 2 の無添加媒質 11 は薄型固体レーザー媒質 3 と同じ厚さであり、薄型固体レーザー媒質 3 の外周部に配置される。薄型固体レーザー媒質 3 と第 2 の無添加媒質 11 は、拡散接合、オプティカルコンタクト、またはセラミックを製作する手法を用いて、厚さ方向の面で接合されており、界面における光学的な損失は極めて小さい。任意の形状である薄型固体レーザー媒質 3 の外周部分に第 2 の無添加媒質 11 を配置したため、薄型固体レーザー媒質 3 の形状によらず、第 2 の無添加媒質 11 の形状を薄型固体レーザー媒質 3 に合わせることで、薄型固体レーザー媒質複合材 10 の側面を平面

とすることができる。このため、薄型固体レーザー媒質複合材の厚さ方向の面で、対向する2つの励起面9から、バー状の半導体レーザーで励起することが可能になる。薄型固体レーザー媒質複合材10は、無添加媒質4と面全体で接合される。接合方法は、固体レーザー媒質3と無添加媒質4を接合させる方法と同じく、拡散接合や、オプティカルコンタクト、セラミックを製作する手法を用いているため、界面における光学的な損失が極めて小さい。固体レーザーチップ2は、薄型固体レーザー媒質複合材10と無添加媒質4を面全体で接合し、薄型固体レーザー媒質複合材10の無添加媒質4と接合している面と対向する面に、レーザー光波長に対する反射膜6を施した構成である。

第10図に、薄型固体レーザー媒質複合材10の構成例を示す。ここでは、固体レーザー媒質3の形状を円形としたが、多角形や楕円形状にすることもできる。第11図に薄型固体レーザー媒質複合材10を用いた固体レーザーチップ2の側面図を示す。薄型固体レーザー媒質複合材10の無添加媒質4との接合面を矩形とした。この断面内で、薄型固体レーザー媒質複合材10の中で薄型固体レーザー媒質3は円形であり、第2の無添加媒質11は円形の薄型固体レーザー媒質3を取り囲んで、薄型固体レーザー媒質複合材10としては矩形になっている。矩形の薄型固体レーザー媒質複合材10と同じ形状の無添加媒質4が面全体で接合しており、薄型固体レーザー媒質複合材10の無添加媒質4と接合している面と対向している面に、レーザー光波長に対する反射膜6が施されている。このような構成の固体レーザーチップ2の側面が励起面9となる。固体レーザーチップ2をこのように構成したため、レーザーの利得領域も円形である。このため、レーザー発振を行った場合、レーザー共振器中に円形アパーチャを配置するなどしてレーザー出力光を円形にするような特別の手段を用いることなく、同心円のレーザー出力光3を得ることができる。矩形の利得領域を持っ

ている場合で、円形のレーザ出力光を得る場合、薄型固体レーザ媒質上での円形ビームと矩形の利得領域のオーバーラップしている部分からのみエネルギーの取り出しが行われるため、励起を行っているがエネルギーを取り出せない部分が存在する。このため、エネルギーの取り出し効率が低い場合がある。一方、本実施の構成では薄型固体レーザ媒質3を円形にして利得領域も円形にすることができるため、円形のレーザビームに対するビームオーバーラップ効率が高く、高い抽出効率を得られる。このため、レーザ出力の高効率化、高出力化が得られるなどの効果がある。

#### 産業上の利用可能性

以上のように、この発明に係わる固体レーザ励起モジュールは、レーザ共振器やレーザ増幅器に適用され、高効率で高出力なレーザ光を得るのに適している。

## 請 求 の 範 囲

1. 平板状の薄型固体レーザ媒質と、前記薄型固体レーザ媒質の平板面に配置された反射面と、前記反射面に接合した冷却手段と、前記薄型固体レーザ媒質に励起光を与える励起源とを備え、前記反射面の対向する平板面をレーザ光の入射面とする固体レーザ励起モジュールにおいて、

前記薄型固体レーザ媒質として、前記反射面側を少なくとも一部に活性媒質を添加した平板とし、前記反射面に対向する平板面側を平板状の無添加媒質とし、前記二つの平板を光学的に接合したことを特徴とする固体レーザ励起モジュール。

2. 前記平板状の薄型固体レーザ媒質の側面に励起光を導入する励起面を備え、前記励起光が薄型固体レーザ媒質の反射面と入射面の間で反射しながら前記薄型固体レーザ媒質の間を伝搬し励起を行うことを特徴とする請求の範囲第1項記載の固体レーザ励起モジュール。

3. 前記励起面が反射面の法線方向に対して角度をもって形成されると共に、前記励起源から出力される励起光の光軸が、前記励起面の法線に対して略平行に設定されていることを特徴とする請求の範囲第2項記載の固体レーザ励起モジュール。

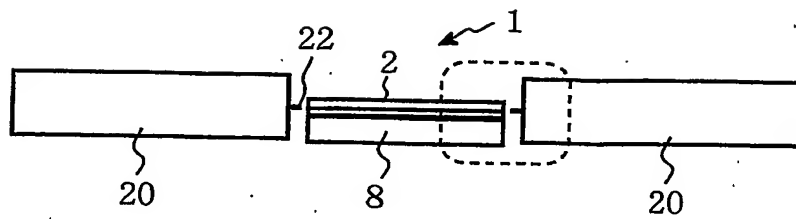
4. 前記反射面側の少なくとも一部に活性媒質を添加した平板と、前記反射面に対向する平板面側の平板状の無添加媒質とを接合する手段が、拡散接合、オプティカルコンタクト、セラミック製作手段のいずれかであることを特徴とする請求の範囲第1項記載の固体レーザ励起モジュール。

5. 前記薄型固体レーザー媒質の平板面間が傾斜して構成されていることを特徴とする請求の範囲第1項記載の固体レーザー励起モジュール。

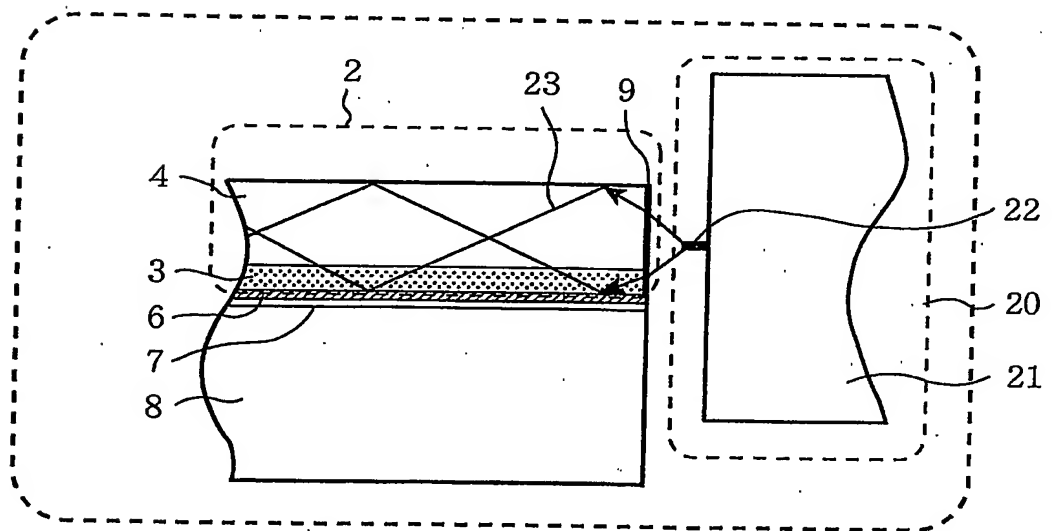
6. 前記薄型固体レーザー媒質の側面に前記励起面を複数配置し、それぞれの励起面へ励起光を出力する励起源を複数配置することを特徴とする請求の範囲第1項記載の固体レーザー励起モジュール。

7. 薄型固体レーザー媒質の活性媒質がYbであることを特徴とする請求の範囲第1項記載の固体レーザー励起モジュール。

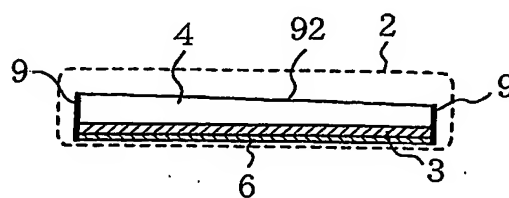
第1図



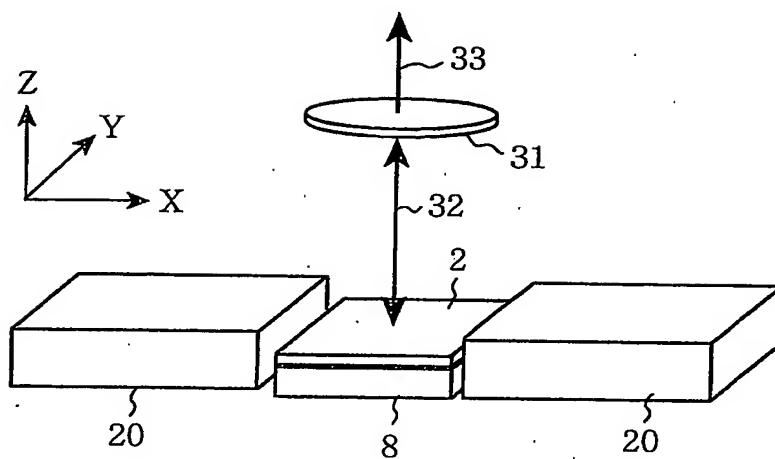
第2図



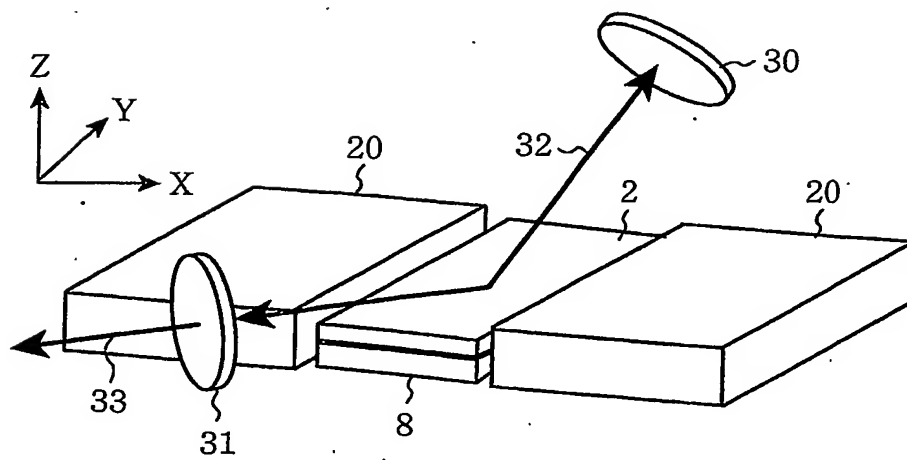
第3図



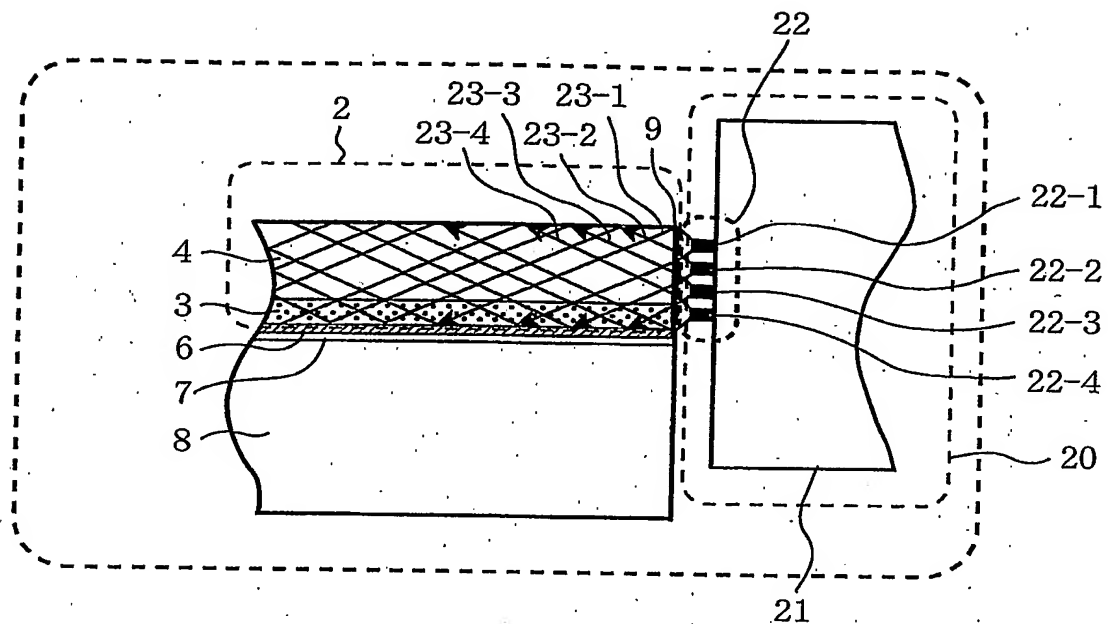
第4図



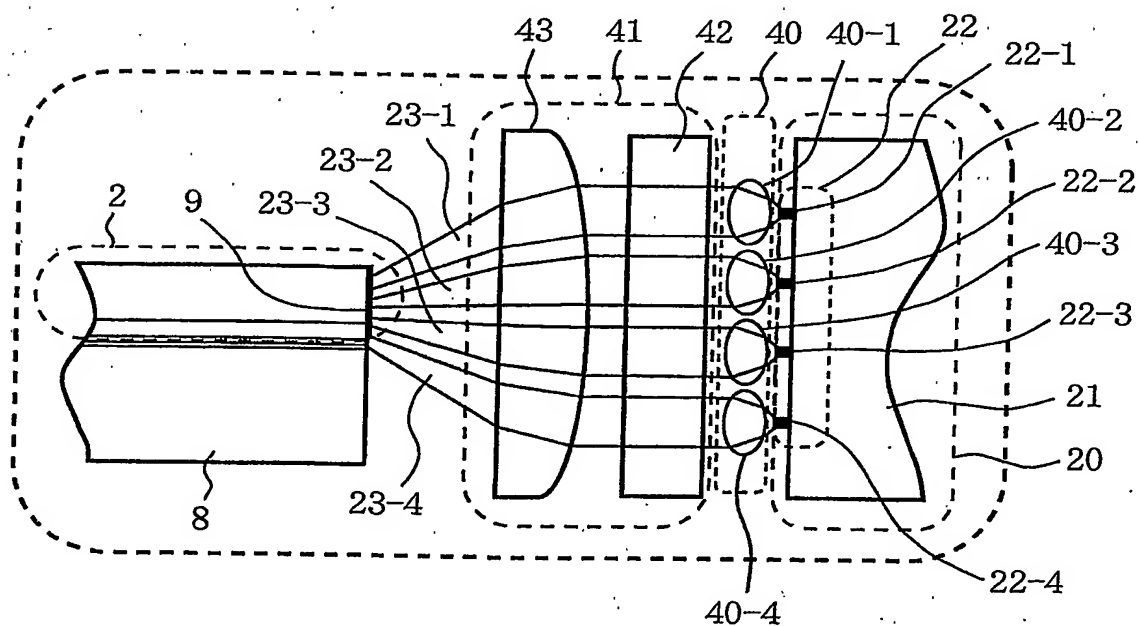
第5図



第6図

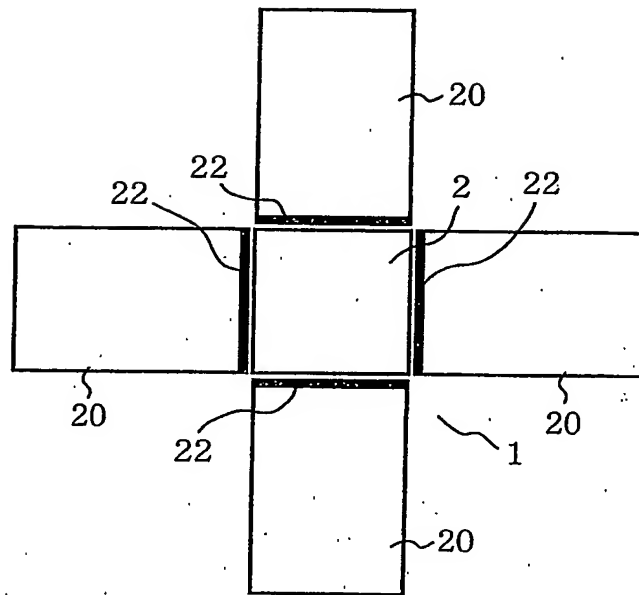


第7図

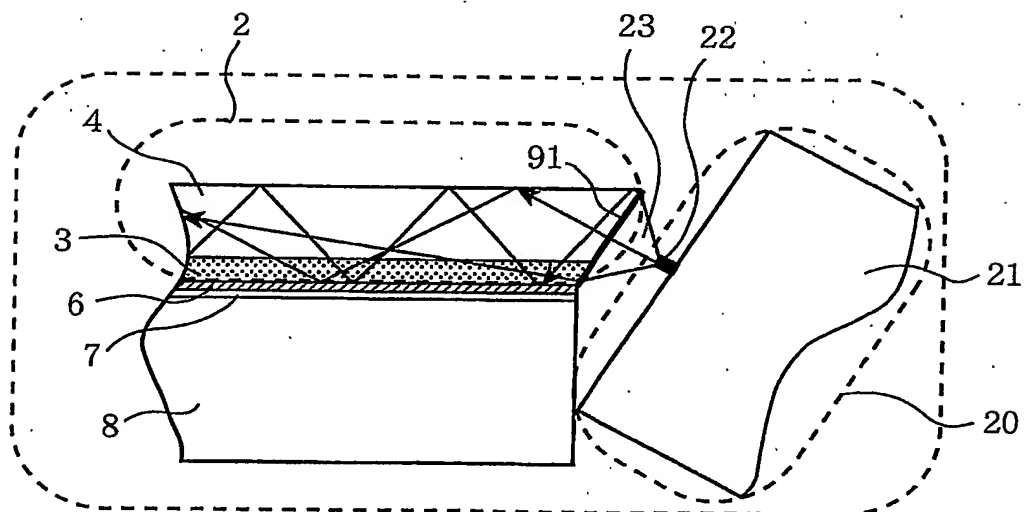




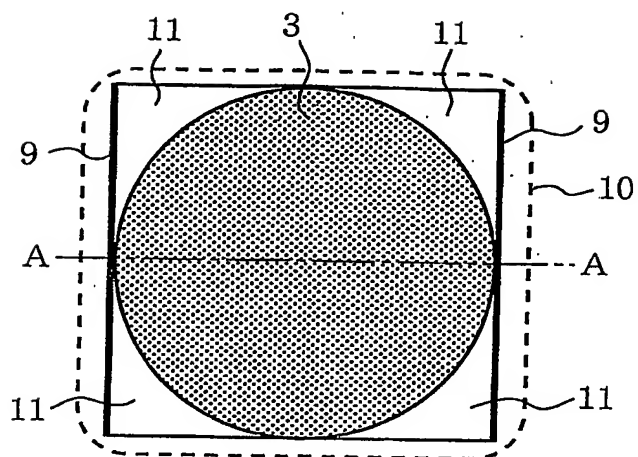
第8図



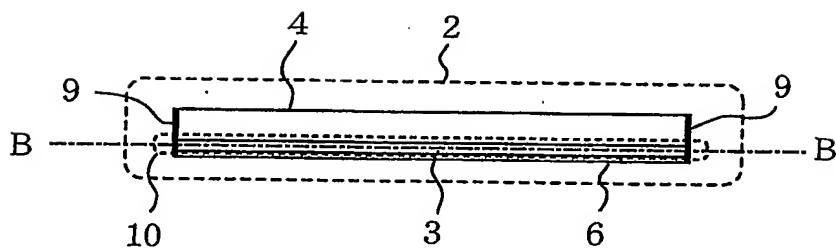
第9図



第10図



第11図



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07884

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01S3/06, 3/0941, 3/042

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01S3/00-3/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2002-141585 A (Shibuya Kogyo Kabushiki Kaisha), 17 May, 2002 (17.05.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-4, 6, 7 5
X Y	JP 2000-77750 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 14 March, 2000 (14.03.00), Full text; all drawings (Family: none)	1, 2, 4, 6, 7 3, 5
X Y	JP 11-121855 A (NEC Corp.), 30 April, 1999 (30.04.99), Par. Nos. [0063] to [0075]; Figs. 1, 18, 21 (Family: none)	1, 4, 6, 7 2, 3, 5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
04 September, 2003 (04.09.03)

Date of mailing of the international search report  
24 September, 2003 (24.09.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07884

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 01/43242 A1 (TIME-BANDWIDTH AG), 14 June, 2001 (14.06.01), Description, page 18, lines 7 to 25; Fig. 2 & EP 1236249 A	5
Y	US 5553088 A (Deutsche Forschungsanstalt fuer Luft- und Raumfahrt e.V.), 03 September, 1996 (03.09.96), Description, column 10, lines 57 to 63; Fig. 5 & EP 632551 A & DE 4344227 A	2
A	US 2001/19570 A1 (Louis Cabaret), 06 September, 2001 (06.09.01), All drawings & JP 2001-217489 A & EP 1115186 A & FR 2803697 A	3
A	JP 2000-101178 A (NEC Corp.), 07 April, 2000 (07.04.00), Figs. 2, 6 (Family: none)	1-7

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S3/06, 3/0941, 3/042

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S3/00-3/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公案 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 2002-141585 A (澁谷工業株式会社)	1-4,
Y	2002.05.17, 全文, 全図 (ファミリーなし)	6, 7 5
X	J P 2000-77750 A (浜松ホトニクス株式会社)	1, 2, 4,
Y	2000.03.14, 全文, 全図 (ファミリーなし)	6, 7 3, 5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04.09.03

国際調査報告の発送日

24.09.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

土屋 知久

2K

3013

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 11-121855 A (日本電気株式会社) 1999. 04. 30, 第63-75段落, 第1, 18, 21図	1, 4, 6, 7
Y	(ファミリーなし)	2, 3, 5
Y	WO 01/43242 A1 (TIME-BANDWIDTH AG) 2001. 06. 14 明細書第18頁第7-25行, 第2図 &EP 1236249 A	5
Y	US 5553088 A (Deutsche Forschungsanstalt fuer Luft- und Raumfahrt e. V.) 1996. 09. 03, 明細書第10欄第57-63行, 第5図 &EP 632551 A &DE 4344227 A	2
A	US 2001/19570 A1 (Louis Cabaret) 2001. 09. 06, 全図 &JP 2001-217489 A&EP 1115186 A &FR 2803697 A	3
A	JP 2000-101178 A (日本電気株式会社) 2000. 04. 07, 第2図, 第6図 (ファミリーなし)	1-7